

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

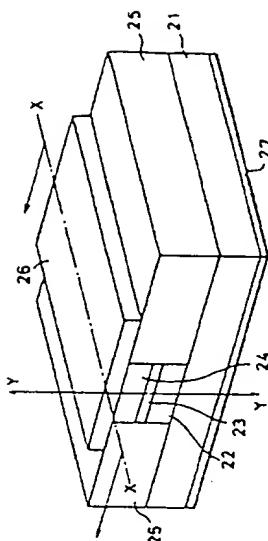
As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(54) SEMICONDUCTOR PHOTOELECTRIC CONVERTER
(11) 5-183185 (A) (43) 23.7.1993 (19) JP
(21) Appl. No. 3-346605 (22) 27.12.1991
(71) FUJITSU LTD (72) HARUHIKO TABUCHI
(51) Int. Cl. H01L31/10, G02B6/12, H01L31/0232

PURPOSE: To improve a photon receiving efficiency of a semiconductor photoelectric converter, by enabling a propagative light to converge on a light absorbing layer effectively even when so using thick light guiding layers as to improve the coupling efficiency of the converter to an optical fiber, and by reducing the propagative light passed through the light guiding layers straightly.

CONSTITUTION: In a semiconductor photoelectric converter, an n-type light guiding layer 22, a non-doped n-type light absorbing layer 23, and a p-type light guiding layer 24 are provided, which are laminated in succession on an n-type semiconductor substrate 21 and from the direction parallel with whose junctions a light is projected on the converter. The respective refractivities of the light guiding layers 22, 24 are made maximum on the sides neighboring the light absorbing layer 23, and both of them are so distributed as to become small as going away therefrom.



THIS PAGE BLANK (USRIC)

E4902

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-183185

(43)公開日 平成5年(1993)7月23日

(51)Int.Cl.⁵
H 01 L 31/10
G 02 B 6/12
H 01 L 31/0232

識別記号 庁内整理番号
B 7036-2K
8422-4M
7210-4M

F I

技術表示箇所

H 01 L 31/10
31/02

A

C

審査請求 未請求 請求項の数3(全14頁)

(21)出願番号 特願平3-346605

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(22)出願日 平成3年(1991)12月27日

(72)発明者 田淵 晴彦

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 柏谷 昭司 (外1名)

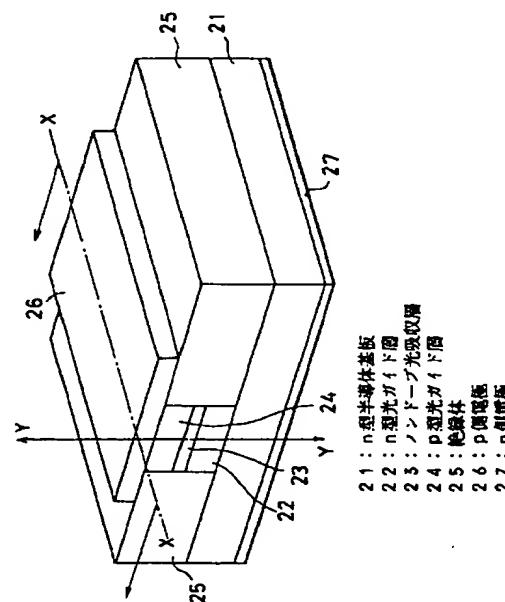
(54)【発明の名称】 半導体光電変換装置

(57)【要約】

【目的】 半導体光電変換装置に関し、光ファイバとの結合効率を向上させる為に厚い光ガイド層を用いた場合であっても、伝播光を光吸収層に効率良く集光させ得るようにして、光ガイド層を素通りする伝播光を低減させて受光量子効率の向上を実現しようとする。

【構成】 n型半導体基板21上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射されるn型光ガイド層22及びノンドープ光吸収層23及びp型光ガイド層24を備えてなり、該各光ガイド層22及び24の屈折率は光吸収層23に近い側が最も高く且つそこから離隔するにつれて低くなるように分布をもつようにしてある。

構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図



【特許請求の範囲】

【請求項1】一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層を備えてなり、

該各光ガイド層の屈折率は光吸収層に近い側が最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする半導体光電変換装置。

【請求項2】光ガイド層に於ける屈折率分布の形状が光吸収層に向かって開く放物線型をなしていることを特徴とする請求項1記載の半導体光電変換装置。 10

【請求項3】一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、

該各光ガイド層の何れか一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする半導体光電変換装置。 20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、結合効率並びに内部量子効率が高く、且つ、高い周波数応答性が得られるように、特に、光導波路を改善した半導体光電変換装置に関する。

【0002】現在、光通信の分野に於いては、大量の情報を高速でやりとりすることを可能にする為、コヒーレント光を利用する傾向が強まっている。然しながら、それを普遍化するには、ハードの面で改善しなければならない問題を多く抱えていて、半導体光電変換装置もその一つである。

【0003】

【従来の技術】図18はコヒーレント光通信を行う場合に用いるバランス型光受信装置を表す要部説明図である。図に於いて、1は光電変換装置、2はマイクロ波増幅器、3は気密封止を行う為の封止用窓、4は光を平行化或いは集光するレンズ、5は被変調光と局部発振光との混合並びに分割を行う光ファイバ・カプラなどの方向性結合器、6は被変調光、7は局部発振光をそれぞれ示している。図から明らかなように、この光受信装置では、二つの受光面が集積化された光電変換装置1、マイクロ波増幅器2、方向性結合器5などが主たる構成要素となっている。

【0004】斯かる光受信装置に必要とされることを示すと、

① 光電変換装置1として、高速で応答できるものであることが必要とされている。コヒーレント光通信に於いては、光の周波数間でビートをとることが行われているので、20 [GHz] ~ 30 [GHz] を越えるような

周波数でも充分に利用可能であることが望まれている。因に、周波数は高い程、伝送可能な情報量を大きくすることができる。

【0005】② 光電変換装置1として、高い量子効率をもつものであることが必要とされている。コヒーレント方式に於ける特徴の一つは、受信感度を向上できることが挙げられる。半導体の光吸収に依るキャリヤ発生の現象を利用する光電変換装置を高速化する為には、光吸収層に於けるキャリヤ走行時間を短くすることが有効であり、従って、それを薄く形成しなければならないのであるが、そのようにすると量子効率が低下する。そこで、薄い光吸収層でありながら、高い量子効率を得られるようにしなければならない。

【0006】③ 電子回路との電気的接続が容易であるようにすることが望まれ、特に、後段に接続される電子回路、例えば、図18に見られるマイクロ波増幅器2のようなものは、光電変換装置1と平面的に配設できるようになることが好ましい。などが挙げられる。

【0007】図19は表面入射型或いは裏面入射型の光電変換装置を説明する為の要部斜面図であり、図18に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、1Aは光電変換装置1に於ける受光面、8は受光面1Aに入射する光をそれぞれ示している。図から明らかなように、このような光電変換装置1を用いる場合、受光面1Aが入射光8に直面するような配置状態、即ち、光電変換装置1と入射光8とが直交するような構成となる。

【0008】ところで、光受信装置は、各部品を例えばプリント板に実装して組み立てるのであるが、高密度実装を可能にする為、全体を薄型に纏めることが望ましい。従って、光ファイバ、方向性結合器5、光電変換装置1、マイクロ波増幅器2などをプリント板などに直線状に配置して実装することが行われる。

【0009】図20は光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを直線状に配置した状態を説明する為の要部斜面図であり、図18及び図19に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図示された配置状態では、光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを平面的に接続することは不可能である。

【0010】図21は光電変換装置1とマイクロ波増幅器2との接続を説明する為の要部側面図であり、図18乃至図20に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、9は電気配線を示している。

【0011】図示の光電変換装置1は、表面入射型或いは裏面入射型であり、例えば、裏面入射型であれば、光電変換で得られた電気信号は表面側から取り出されるようになっているので、図から明らかなように、この場合、電気配線9は90°に折り曲げなければ光電変換装置1とマイクロ波増幅器2との間を接続することができ

ない。斯かる構成にすることは不可能ではないにしても、製造は面倒であり、また、電気配線9を折り曲げて配設した場合、高周波特性が悪化するので、実際には、図20に見られるような配置は採用することができない。

【0012】図22は光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを接続する上で望ましい配置を説明する為の要部斜面図であり、図18乃至図21に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。電気配線を施すことからすれば、図示されているように、光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とは同一面上に平面的に配置されている方が良い。

【0013】然しながら、それを実現するには、図22に見られるように、光信号である入射光8を光電変換装置1が組み込まれている半導体チップのエッジから入力することができるものでなければならない。

【0014】図23は従来のエッジ入力型半導体光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。図に於いて、11はn型半導体基板、12はn型光ガイド層、13はノンドープ光吸收層、14はp型光ガイド層、15は絶縁体、16はp側電極、17はn側電極をそれぞれ示している。この光電変換装置は、図から明らかなように、BH(buried heterostructure)構造になっていて、光吸收層13を薄くすることで高速特性が良好になるなど優れた性能を発揮するとされている。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】図24は図23に見られる光電変換装置を線X-Xに沿って切断した場合の説明図であり、図23に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A)は要部切断側面を、(B)は屈折率分布をそれぞれ表していて、(B)では、縦軸に厚さ方向を、そして、横軸に屈折率をそれぞれ採ってある。図に於いて、18は入射光8に起因する伝播光を示している。

【0016】図から明らかなように、屈折率分布はステップ型になっていて、ガイド層12及び14の屈折率が光吸收層13のそれに近い場合には、ガイド層12及び14に於いても大きな光吸收が起こることになるので、光吸收層13とガイド層12及び14との間の屈折率差を大きくしておかなければならぬ。

【0017】図示例の光電変換装置では、入力される入射光8のスポット径が、光ガイド層12、光吸收層13、光ガイド層14それぞれの厚さの和と同程度であれば、伝播光18は良好にガイドされ、光吸收層13に於いて効率良く光電変換されるのであるが、通常は入射光8に於けるスポット径の方が大きい。

【0018】ところで、この光電変換装置に於いては、光吸收層13を薄くするほど、伝播光18のスポット径を拡げができるが、その拡がりは、光吸收層13

の厚さを0.04[μm]以下にした場合でも高々2[μm]程度であって、光ファイバからの出力光を高効率で結合させることは困難であり、入射光8のスポット径が大きくて基板11にかかった場合、その光の殆どは光吸收層13に達することなく透過してしまうので、結合効率を含めた受光量子効率は大変に低いものとなっている。

【0019】図25は図23及び図24に見られる光電変換装置に於ける光ガイド層に改変を加えたものの要部切断側面図であり、図23及び図24に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、19はエッジ面に直交していると共に伝播光18が存在し得る範囲から外れた入射光、20はエッジ面に角度をもった入射光をそれぞれ示している。

【0020】図から明らかなように、この光電変換装置では、光ファイバとの結合効率を高めようとして、光ガイド層12及び14を厚く形成したのであるが、入射光19の大部分は光ガイド層12や14を透過してしまい、僅かに、入射光20は反射に依って光吸收層13を到達することができるのみであり、従って、このようにした場合も矢張り受光量子効率は低くなってしまう。

【0021】本発明は、光ファイバとの結合効率を向上させる為に厚い光ガイド層を用いた場合であっても、伝播光を光吸收層に効率良く集光させ得るようにして、光ガイド層を素通りする伝播光を低減させて受光量子効率の向上を実現しようとする。

【0022】

【課題を解決するための手段】図1は本発明に依る光電変換装置に於ける構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図である。図に於いて、21はn型半導体基板、22はn型光ガイド層、23はノンドープ光吸收層、24はp型光ガイド層、25は絶縁体、26はp側電極、27はn側電極をそれぞれ示している。

【0023】この光電変換装置は、図から明らかなように、図23について説明した従来のエッジ入力型半導体光電変換装置と同様な構成を採っていて、所謂、BH構造をなしているのであるが、相違するところを列挙すると次の通りである。

【0024】(a) 光ガイド層22及び24の材料組成を変化させて、屈折率に分布を持たせること。即ち、光吸收層23に近い部分では屈折率を高くすると共に離れるにつれて低くなるようにしてある。但し、常に、光吸收層23の屈折率に比較して低い値であるようにする。

【0025】(b) 光ファイバとの結合が容易であるように、光ガイド層22及び24を厚くすること。

【0026】図2は本発明に依る光電変換装置に於ける動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図であり、図1に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか

或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A)は図1に見られる線X-Xに沿って切断した縦断側面を表し、また、(B)は同じく図1に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布を表し、28は伝播光、P₁及びP₂は伝播光28が光吸収層23を横切る点をそれぞれ示し、また、(B)では縦軸に諸半導体層などの厚さ方向の距離を、横軸に屈折率を採ってあり、nL₁は滑らかな屈折率分布、nL₂はステップ状の屈折率分布、L₃は滑らかな屈折率分布nL₁を生成させる為の組成分布を示している。尚、半導体層に対し、(B)に見られるような屈折率分布をもたせることは普通に行われていて、例えば、多元化合物半導体は組成を変化させると屈折率が変化するから、その組成を組成分布L₃のように連続的に変化させることで目的とする屈折率分布nL₁を得れば良い。

【0027】さて、良く知られているように、光は屈折率が高い方へ曲げられる性質があるので、図1及び図2に見られる光電変換装置に於いては、光ガイド層22及び24を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われる様にした場合、本来であれば、光ガイド層22或いは24を素通りして無効になってしまうような伝播光28も光吸収層23に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で光吸収層23を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われる。尚、図示されていないが、光吸収層23を中心とし、或る程度の拡がりをもって入射する光が主たる伝播光になることは云うまでもない。

【0028】前記したところから、本発明に依る光電変換装置に於いては、(1)一導電型化合物半導体基板(例えばn型基板21)上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層(例えばn型光ガイド層)及びノンドープ化合物半導体光吸収層(例えばノンドープ光吸収層23)及び反対導電型化合物半導体光ガイド層(例えばp型光ガイド層)とを備えてなり、該各光ガイド層の屈折率は光吸収層に近い側が最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とするか、或いは、

【0029】(2)光ガイド層に於ける屈折率分布の形状が光吸収層に向かって開く放物線型をなしていることを特徴とするか、或いは、(3)一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、該各光ガイド層の何れか一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする。

【0030】

【作用】前記手段を採ることに依り、光ガイド層を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるよう

した場合であっても、本来ならば、光ガイド層を素通りして無効になってしまうような伝播光も光吸収層に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で伝播光は光吸収層を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われるから、その全体から見た光電変換の効率は極めて高いものとなる。

【0031】

【実施例】図1に見られる光電変換装置を具体化したものを本発明に於ける第一実施例として説明する。

【0032】図示されている各部分に関する主なデータを例示すると次の通りである。

(1) n型半導体基板21について

材料: InP

不純物濃度: 2×10^{18} [cm⁻³]

厚さ: 100 [μm]

【0033】(2) n型光ガイド層22について

材料: InPからInGaAsP(波長が1.45 [μm]となる組成)に次第に変化する半導体結晶

不純物濃度: 1×10^{18} [cm⁻³]

厚さ: 3.5 [μm]

(3) ノンドープ光吸収層23について

材料: InGaAs

厚さ: 1 [μm]

【0034】(4) p型光ガイド層24について

材料: InGaAsP(波長が1.45 [μm]となる組成)からInPに次第に変化する半導体結晶

不純物濃度: 1×10^{18} [cm⁻³]

厚さ: 3.5 [μm]

(5) 絶縁体25について

材料: ポリイミド

【0035】(6) p側電極26及びn側電極27について

材料: Au

(7) ストライプ・メサについて

幅: 10 [μm]

長さ: 100 [μm]

尚、光ガイド層22及び24の屈折率を連続的或いはステップ状に変化させることは容易であって、三元或いは四元或いは更に多元の半導体結晶を用い、組成を連続的に変化させることで容易に実現することができ、例えば、InGaAsP系の半導体結晶では、Pの組成を1(屈折率小)～0(屈折率大)に変化させることで屈折率は大きく変化させることができる。

【0036】この第一実施例の光電変換装置が、前記説明した本発明に於ける原理と全く同じ動作をすることは勿論であり、光ガイド層22及び24の厚さは光吸収層23の厚さと無関係に厚くすることができ、光ファイバなどの出力光との結合効率を向上させて光受信装置の感度を高めることができる。

【0037】従来の標準的な光電変換装置に於いては、(光ガイド層の厚さ×2+光吸収層の厚さ)=約2[μm]であるのに対し、第一実施例では前記したように8[μm]であり、従って、入射光との結合効率は大きく向上する。また、光ガイド層22及び24が前記したように3.5[μm]の厚さになっていても、入射する大部分の光を光吸収層23に到達させることができ、従って、結合効率並びに内部量子効率は著しく高くなっていて、しかも、30[GHz]を越える周波数応答性を備えている。

【0038】ところで、図2に見られるように、光ガイド層22及び24に於ける屈折率分布が放物線状をなしている場合、媒質は理想的な凸レンズとして作用するので、入射光8に起因する伝播光28を最も効率良く光吸収層23へ集中させることができ、優れた凸レンズを附加した構成と同じ効果が得られる。

【0039】即ち、前記した構成をもった第一実施例に於いて、入射光8に起因する伝播光28はエッジから約24[μm]のところ、従って、点P₁で光吸収層23を横切り、更に進行すると約72[μm]のところ、従って、点P₂で再び光吸収層23を横切る動作をする。

【0040】この光電変換装置に於ける応答速度は、光吸収層23が薄く、且つ、光ガイド層22及び光吸収層23及び光ガイド層24で形成されるp-i-n接合の容量が小さければ速くなり、このp-i-n接合の容量は、中央に在るストライプ・メサの幅が狭く、且つ、長さが短く、また、光吸収層23が厚ければ小さくなる。

【0041】このように、光吸収層23の厚さには、高速性の面から見ると二律背反的要素が含まれ、光吸収層自体の特性からすると、高速化の為には薄いと良いのであるが、そのようにすると、p-i-n接合容量が大きくなるので余り薄くもできないので、それ等の兼ね合いが重要となる。

【0042】しかも、光吸収層23を薄くすると光の吸収が少なくなるので、その状態で効率を維持、或いは、向上するには、例えばストライプ・メサを長大にすることが必要になるが、そのようにした場合、当然のことながら、p-i-n接合の容量が更に増大し、高速性の低下に結び付くことになる。

【0043】第一実施例に於いて、ストライプ・メサの幅は変えず、効率を重視して長さを200[μm]とし、また、光吸収層23の厚さを1.5[μm]以下にした改変例を試作し、50[Ω]の抵抗を負荷にしたところ、20[GHz]以上の高速応答をさせることができた。

【0044】光吸収層23の厚さが1[μm]の場合、量子効率は、伝播光28が光吸収層23を垂直に一回横切ると80[%]以上になる。前記改変例に於いては、伝播光28は24[μm]毎に光吸収層23を斜めに横切るので、ストライプ・メサの長さが200[μm]で

あるから六回以上も横切ることになる。

【0045】ここで、光が光吸収層23を垂直に横切るよりも斜めに横切る方が光吸収を行う距離は長いから効率は向上すること、また、六回も横切ることから、約100[%]の量子効率を達成している。尚、改変例ではなく、第一実施例、即ち、ストライプ・メサの長さが100[μm]のものでは、然程の効率低下なしに30[GHz]以上の高速応答が可能になる。

【0046】図3は本発明に於ける第二実施例を解説する為の光電変換装置の説明図であって、図1及び図2に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。

【0047】図に於いて、(A)は縦断側面を表し、そして、(B)は(A)に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布(実線)及び高屈折率半導体層位置のピッチ分布(破線)を表し、また、31Aは例えばn型InPからなる低屈折率半導体層、32Aは例えばp型InPからなる低屈折率半導体層、31Bは例えば厚さが5[nm]であるn型InGaAsからなる高屈折率半導体層、32Bは例えば厚さが5[nm]であるp型InGaAsからなる高屈折率半導体層、PCはピッチをそれぞれ示し、また、(B)では、縦軸に諸半導体層などの厚さ方向の距離を、横軸に屈折率及びピッチを採ってあり、nL₁は滑らかな屈折率分布、pL₃は滑らかな屈折率分布nL₁を生成させる為のピッチ分布を示している。尚、ピッチPCは図示されているように低屈折率半導体層31A或いは32Aの厚さに相当し、その厚さが光吸収層23から離れるにつれて大となるように、即ち、屈折率を高くしたい部分では低屈折率半導体層31A或いは32Aの厚さを薄く、また、屈折率を低くしたい部分では低屈折率半導体層31B或いは32Bの厚さを厚くすることで、屈折率に所望の分布をもたせている。

【0048】このようにして屈折率分布を生成させる場合、低屈折率半導体層31Aや32A、そして、高屈折率半導体層31Bや32Bそれぞれの厚さを波長の1/5の範囲内で制御すれば、図3に見られるように、滑らかな屈折率分布が得ることができる。

【0049】前記説明した第一実施例に於いては、半導体結晶の組成を変えることで屈折率に分布をもたせたが、第二実施例に於いては、半導体結晶の組成は固定化し、低屈折率半導体層31A(或いは32A)と高屈折率半導体層31B(或いは32B)とを交互に積層し、且つ、それ等のピッチを変えることで屈折率に分布をもたせている。このピッチを変えるについては、低屈折率半導体層31Aなどの厚さを変化させるだけでなく、高屈折率半導体層32Aなどの厚さを変えるようにしても良く、また、両者の厚さを制御するようにしても良い。

【0050】第二実施例に依る屈折率分布の制御手段は、第一実施例に依るそれと比較すると、屈折率分布の

制御性は良好である。その理由は、組成の変化と屈折率の変化との関係は完全な直線的にならないこと、また、充分に制御された状態で連続的に組成を変化させるのに比較すると、半導体層の成長時に厚さを時間で制御する方が遙に容易であることに依る。

【0051】図4は本発明に於ける第三実施例を解説する為の光電変換装置を表す説明図であり、図1乃至図3に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A)は縦断側面を表し、そして、(B)は(A)に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布を表している。

【0052】本実施例が第一実施例と相違する点は、厚さが1 [μm] であるp型光ガイド層24が屈折率一定で分布をもたない単なるp型InPで構成されていることである。尚、不純物濃度は第一実施例と同じく 1×10^{18} [cm⁻³] である。この実施例に於けるp型光ガイド層24の形成は第一実施例に比較して極めて容易であって、ノンドープのInP層を形成してからZnを拡散してp型化すれば良い。

【0053】さて、ここで、さきに説明した第一実施例を製造する工程について詳細に解説するが、その前に、気相成長装置及びそれに関連する事項の概略を説明する。図5は本発明で用いる気相成長装置の要部説明図を表している。図に於いて、31は反応室、32はガス送入管、33は排気管、34はガス流量を加減するガス制御弁、35は基台、36は基板をそれぞれ示している。

【0054】この気相成長装置は公知のものであって、反応室1にはガス送入管32及びガス制御弁34を介して、InNソース・ガス、Gaソース・ガス、Asソース・ガス、Pソース・ガス、ドーパント・ガスのそれぞれを別個に送入することができるようになっていて、それらガスの熱分解及び基板36上への結晶成長なる化学反応を利用し、基板36の表面へ例えばInGaAsPなどの結晶をエピタキシャル成長させるようにしている。

【0055】本発明では、InGaAsPの組成を変化させた半導体結晶を多用しているので、そのInGaAsPの成長について詳細に説明する。

【0056】今、InGaAsPに於けるGaの組成をxで、そして、Asの組成をyで表すとすると、InGaAsPを $GaxIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ と表すことができ、InPに格子整合させる為のx及びyは、 $x=0.466y/(1.03-0.03y)$ の関係にある。

【0057】また、バンド・ギャップ・エネルギーE_gは、

$$E_g(y) = 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$$

のようにならざる。

【0058】更にまた、yを小さくすると、 $GaxIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ の屈折率は大きくなる(詳細には、「永井治男 他著、三一五族半導体混晶、昭和63年

株式会社コロナ社 発行」、を参照)。

【0059】従って、x及びyを制御することで、屈折率が連続的に変化する半導体層を形成することができる。勿論、x並びにyは、反応室1に導入されるIn、Ga、As、Pの各ソース・ガスに於ける気相化合物の量の比率で制御される。

【0060】具体的には、In、Ga、As、Pの各ソース・ガスを供給する管にコンピュータ制御の流量制御弁(マス・フロー・コントローラ)を取り付け、屈折率が設計された値となるように制御を行うものである。

【0061】図6乃至図15は第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切削側面図、また、図16及び図17はソース・ガスの流量制御について説明する為の線図をそれぞれ表し、以下、これ等の図を参照しつつ詳細に説明する。

尚、図1乃至図4に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。また、図16及び図17では、縦軸にはガス流量を、そして、横軸には時間をそれぞれ採ってある。

【0062】図6及び図16参照

6-(1)

直径が50 [mm]、厚さ300 [μm] であって、n型ドーパントとしてSnをドーピングして 2×10^{18} [cm⁻³] とし、表面を鏡面研磨したInP基板21を用意する。

【0063】6-(2)

基板21の表面を強酸で清浄化処理してから気相成長装置の反応室31にセットする。尚、この後、図6に見られる各半導体層を気相成長させるのであるが、適用技術としては有機金属化学気相堆積(metal organic chemical vapour deposition: MOCVD)法を採用する。

【0064】6-(3)

In、Ga、As、Pの各気相化合物の量の比率、従って、x及びyを制御し、当初は、基板21との界面がInPとなるように、また、厚さが約3.5 [μm] となった状態に於いては、バンド・ギャップ・エネルギーE_gが波長換算(λE_g)で1.45 [μm] となるようにx及びyを連続的に制御してn型光ガイド層22の成長を行う。また、光ガイド層22の構成材料に関する各ソース・ガスの他にn型とする為のドーパント・ガスとしてH₂Sガスを添加する。尚、光ガイド層22をn型にする為のドーパントにはシリコン(Si)を用いても良く、その際のドーパント・ガスはSiH₄が一般的である。

【0065】図16にはn型光ガイド層22を成長させる際の各ソース・ガスの流量変化が明瞭に示されていて、(a)はInNソース・ガス並びにPソース・ガスの流量変化を、また、(b)はGaソース・ガス並びにAsソース・ガスの流量変化をそれぞれ示している。

【0066】6-(4)

$y=1$ の組成となるように In、Ga、As、P に関する気相化合物の量の比率、即ち、トリメチルインジウム (TMI : In (CH₃)₃)、トリエチルガリウム (TEG : Ga (C₂H₅)₃)、アルシン (AsH₃)、ホスフィン (PH₃) の流量を制御し、厚さが 1 [μm] の InGaAs からなるノンドープ光吸収層 23 を成長させる。

【0067】6-(5)

In、Ga、As、P の各気相化合物の量の比率を制御し、光吸収層 23 との界面に於いては、バンド・ギャップ・エネルギー E_g が波長換算 (λE_g) で 1.45 [μm] である InGaAsP となるように、また、厚さが約 3.5 [μm] となった状態に於いては、 $y=0$ 、即ち、InP となるように x 及び y を連続的に制御してノンドープの光ガイド層 24 の成長を行う。

【0068】図 17 には光ガイド層 24 を成長させる際の各ソース・ガスの流量変化が明瞭に示されていて、

(a) は In ソース・ガス並びに P ソース・ガスの流量変化を、また、(b) は Ga ソース・ガス並びに As ソース・ガスの流量変化をそれぞれ示している。尚、ここで、 E_g と λE_g との関係は、

$$E_g \text{ (単位 [eV])} = 1.24 / \lambda E_g \text{ (単位 [\mu m])}$$

で近似される。このようにして、図 2 の (B) に見られるような組成分布 L_3 及び屈折率分布 $n L_1$ をもつ半導体結晶層を成長させることができた。

6-(6)

ガラス閉管中にウエハ及び Zn 化合物を封入し、温度を 600 [°C]、時間を約 8 [時間] として Zn の熱拡散を行って光ガイド層 24 を p 型化する。

【0069】図 7 参照

7-(1)

熱 CVD (chemical vapor deposition) 法を適用することに依り、厚さ例えば 200 [ns] の SiO₂ 膜 37 を形成する。

7-(2)

リソグラフィ技術に於けるレジスト・プロセスを適用することに依ってレジスト膜 38 を形成する。

【0070】図 8 参照

8-(1)

露光及び現像を行って、幅が例えば 10 [μm] であるストライプのレジスト膜 38 を残す。

【0071】図 9 参照

9-(1)

エッチャントをフッ化水素酸とするウエット・エッティング法を適用することに依り、レジスト膜 38 をマスクとして SiO₂ 膜 37 の選択的エッティングを行って幅 10 [μm] のストライプとする。

9-(2)

レジスト膜 38 を溶解・除去する。

【0072】図 10 参照

10-(1)

エッチャントを塩酸系エッティング液とするウエット・エッティング法を適用することに依って、ストライプの SiO₂ 膜 37 をマスクとして p 型光ガイド層 24 の表面から基板 21 内に達するメサ・エッティングを行う。

【0073】図 11 参照

11-(1)

エッティング・マスクとして用いた SiO₂ 膜 37 を除去する。

11-(2)

スピニ・コート法を適用することに依り、メサ部分が充分に埋まるように感光性ポリイミドを塗布し、加熱硬化させる。

【0074】図 12 参照

12-(1)

メサ部分の頂面のみを覆うフォト・マスク 39 を介して紫外線照射に依る露光を行う。

20 【0075】図 13 参照

13-(1)

現像を行うとメサ部分頂面に在った感光性ポリイミドは重合していないから除去されてしまう。これに依り、図 1 について説明したメサ部分を埋め込んだポリイミドからなる絶縁体 25 が得られる。

【0076】図 14 参照

14-(1)

治具 40 に貼付したウエハに於ける裏面を定盤 41 上に撒布したアルミナの砥粒 42 と対向させて研磨する。

30 【0077】図 15 参照

15-(1)

スパッタリング法など従来の技術を適用することに依り、Au/Zn/Au からなる p 側電極 26 及び AuGe/Au からなる n 側電極 27 を形成する。

15-(2)

この後、劈開など従来の技術を適用することに依り、幅 200 [μm]、長さ 100 [μm] のチップにする。尚、図に見られる破線は劈開線を示している。

【0078】

【発明の効果】本発明に依る半導体光電変換装置に於いては、一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、該各光ガイド層のうち、少なくとも一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつようにしてある。

【0079】前記構成を採ることに依り、光ガイド層を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるようとした場合であっても、本来ならば、光ガイド層を素

通りして無効になってしまふような伝播光も光吸収層に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で伝播光は光吸収層を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われ、従って、その全体から見た光電変換の効率は極めて高いものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に依る光電変換装置に於ける構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図である。

【図2】本発明に依る光電変換装置に於ける動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図である。

【図3】本発明に於ける第二実施例を解説する為の光電変換装置の説明図である。

【図4】本発明に於ける第三実施例を解説する為の光電変換装置を表す説明図である。

【図5】本発明で用いる気相成長装置の要部説明図である。

【図6】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図7】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図8】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図9】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図10】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図11】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図12】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図13】第一実施例を製造する工程について解説する

為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図14】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図15】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図16】ソース・ガスの流量制御について説明する為の線図である。

【図17】ソース・ガスの流量制御について説明する為の線図である。

【図18】コヒーレント光通信を行う場合に用いるバランス型光受信装置を表す要部説明図である。

【図19】表面入射型或いは裏面入射型の光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。

【図20】光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを直線状に配置した状態を説明する為の要部斜面図である。

【図21】光電変換装置1とマイクロ波増幅器2との接続を説明する為の要部側面図である。

【図22】光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを接続する上で望ましい配置を説明する為の要部斜面図である。

【図23】従来のエッジ入力型半導体光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。

【図24】図23に見られる光電変換装置を線Y-Yに沿って切断した場合の説明図である。

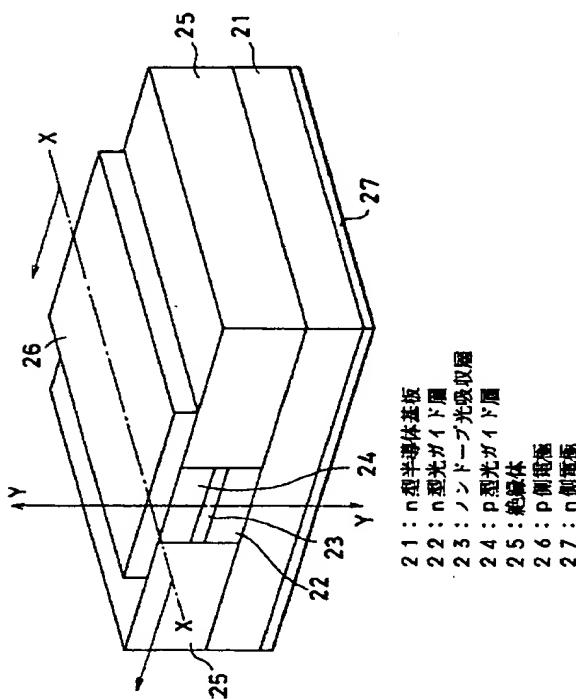
【図25】図23及び図24に見られる光電変換装置に於ける光ガイド層に改変を加えたものの要部切断側面図である。

【符号の説明】

- 2 1 n型半導体基板
- 2 2 n型光ガイド層
- 2 3 ノンドープ光吸収層
- 2 4 p型光ガイド層
- 2 5 絶縁体
- 2 6 p側電極
- 2 7 n側電極

【図1】

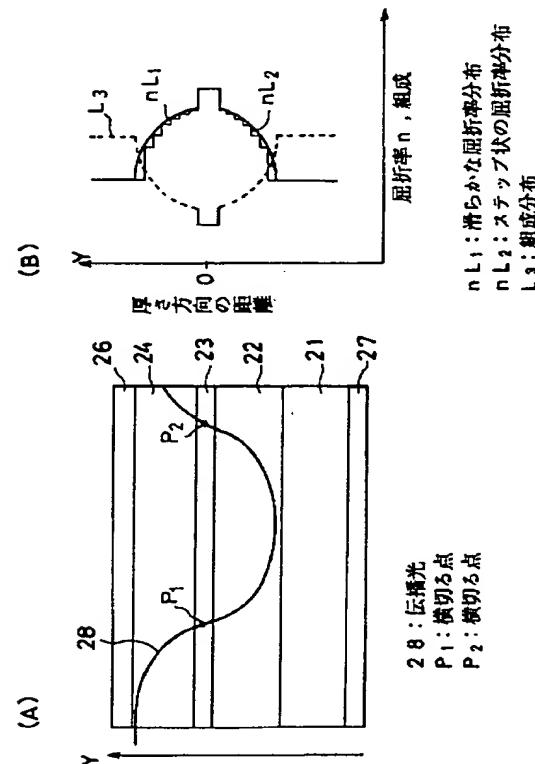
構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図



【図6】

【図2】

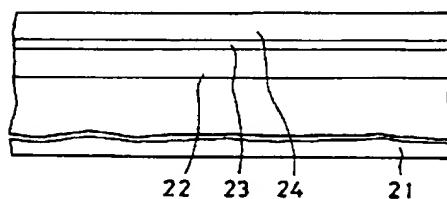
動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図



【図7】

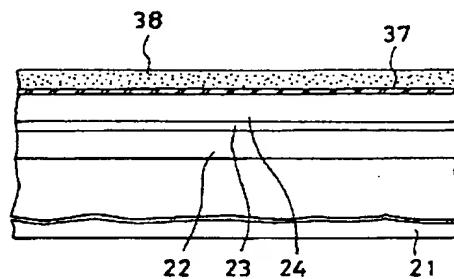
工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

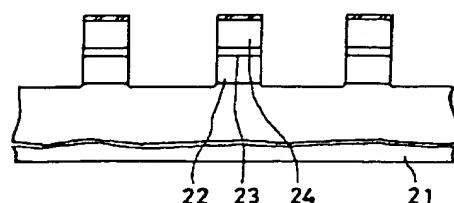


【図10】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



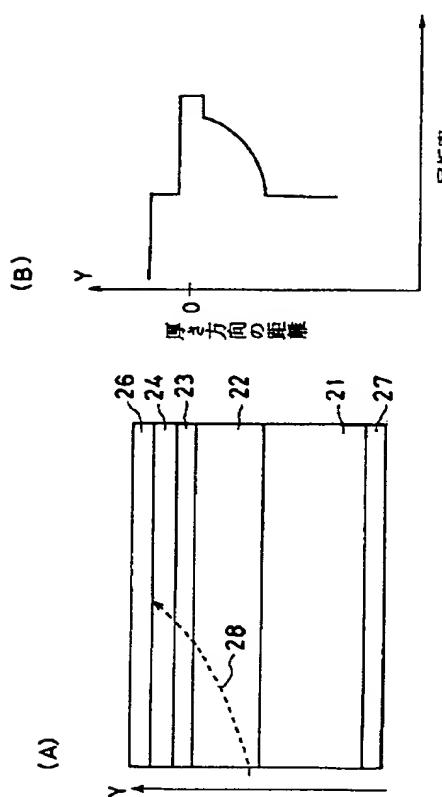
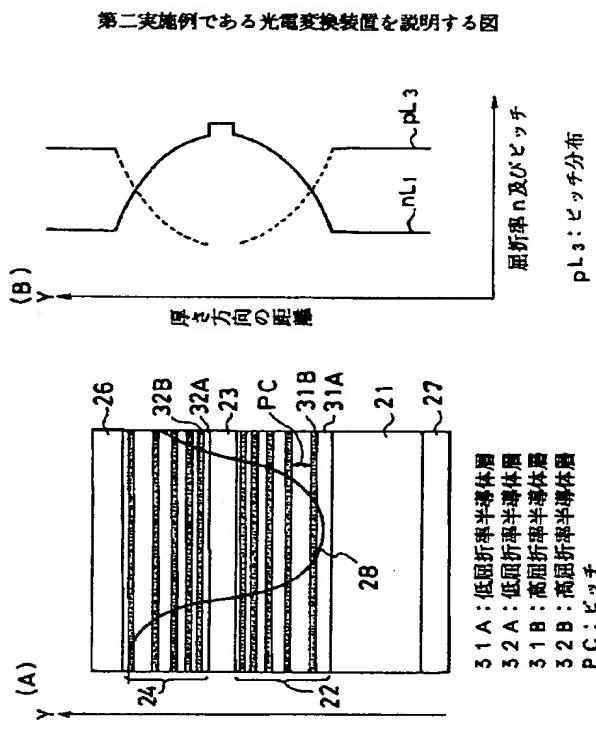
37: SiO_2 膜
38: レジスト膜



【図3】

【図4】

第二実施例である光電変換装置を説明する図

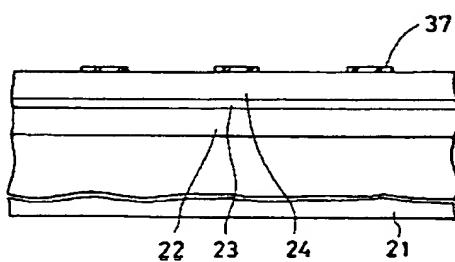
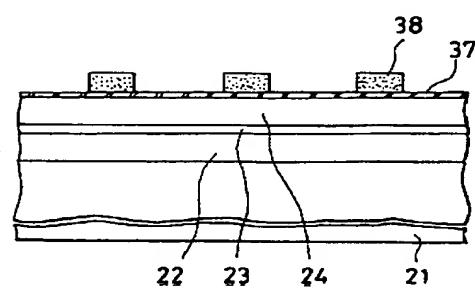


【図8】

【図9】

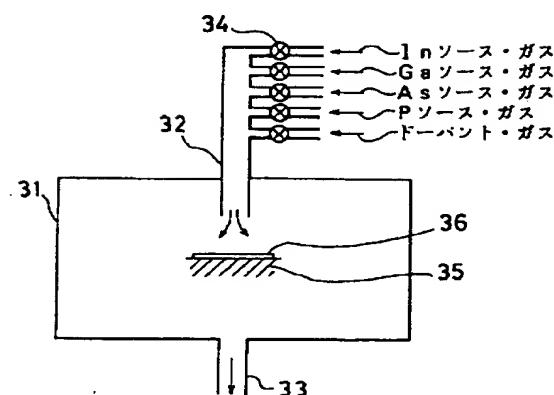
工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



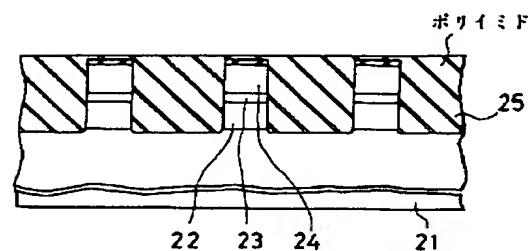
【図5】

気相成長装置の要部説明図



【図11】

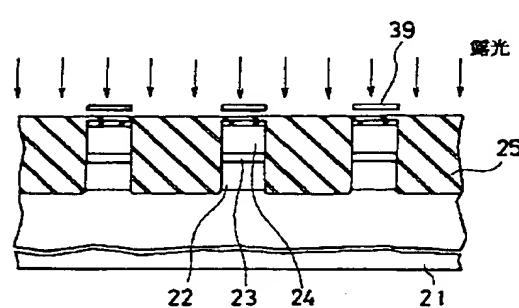
工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



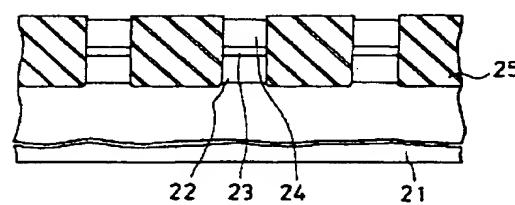
【図12】

【図13】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

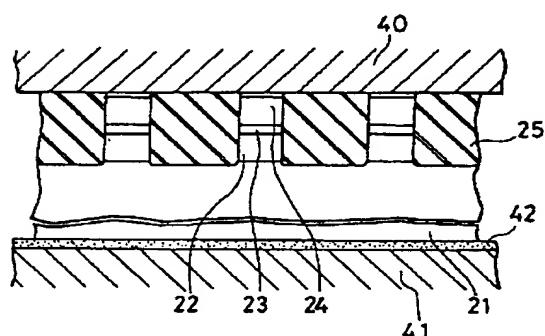


工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



【図14】

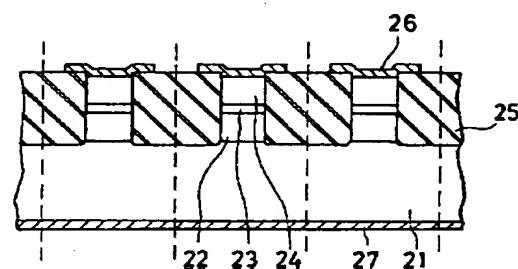
工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



40: 治具
41: 定盤
42: 砥粒

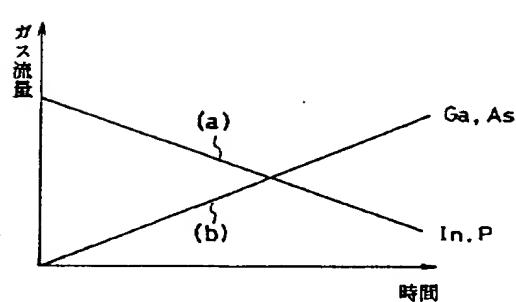
【図15】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



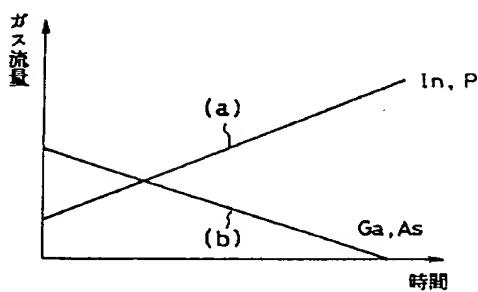
【図16】

ソース・ガスの流量制御を説明する線図



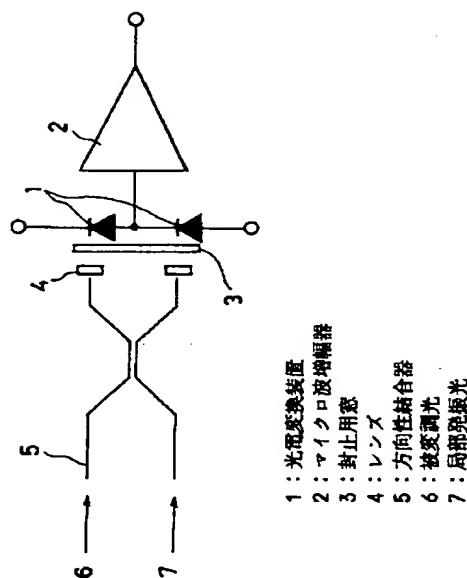
【図17】

ソース・ガスの流量制御を説明する線図



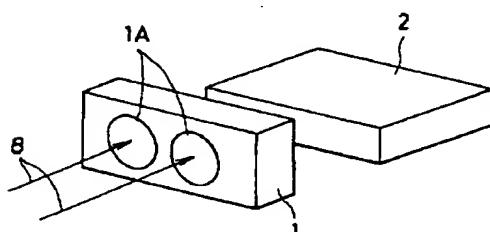
【図18】

バランス型光受信装置の要部説明図



【図20】

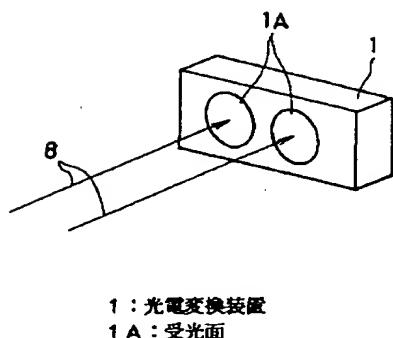
光電変換装置とマイクロ波増幅器の配置を説明する為の要部斜面図



1: 光電変換装置
1A: 受光面
2: マイクロ波増幅器
8: 入射光

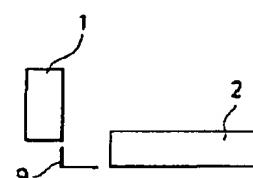
【図19】

光電変換装置を説明する為の要部斜面図



【図21】

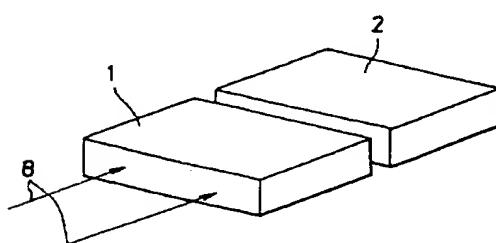
光電変換装置とマイクロ波増幅器の接続を説明する為の要部側面図



1: 光電変換装置
2: マイクロ波増幅器
9: 電気配線

【図22】

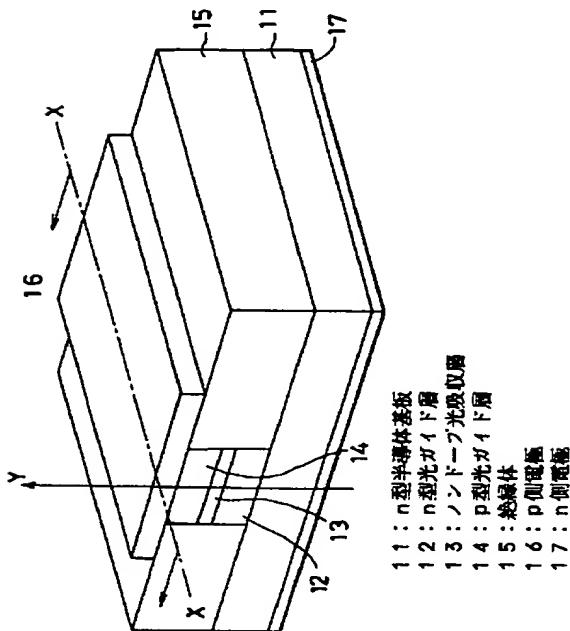
光電変換装置とマイクロ波増幅器の好ましい配置を説明する為の要部斜面図



1: 光電変換装置
2: マイクロ波増幅器

【図23】

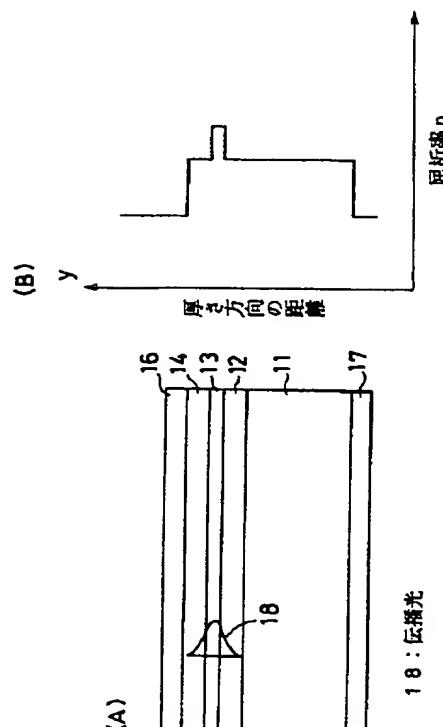
エッジ入力型である光電変換装置の要部斜面図



【図25】

【図24】

光電変換装置の説明図



光電変換装置の要部切断側面図

